

**Выводы.** Разработанная информационная система, входящая в состав АРМ технолога, позволяет повысить качество работы технолога за счет сокращения рисков ошибки при расчете основных параметров процесса ускоренного охлаждения трубы, а также позволит ему ввести корректные исходные данные для эксплуатации спрейерного устройства.

### **Список использованных источников**

1. Эйсмонт К.Ю. Разработка и внедрение в производство устройств термоупрочнения проката регулируемым охлаждением на основе анализа процессов теплообмена: автореф. дис. ... канд. тех. Наук: 05.16.01; 05.16.02 / Эйсмонт Константин Юрьевич. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 23 с.
2. Захарченко М.В. Разработка и внедрение устройства и технологии ускоренного охлаждения для обеспечения механических свойств металла рельсовых накладок: дис. ... канд. тех. наук: 05.16.02 / М. В. Захарченко. – Екатеринбург: УрФУ, 2014. – 49 с.
3. Маковский А.В. Эмпирические формулы для выражения температурной зависимости теплофизических свойств сталей // Сталь. 1972. №1. С. 87-89.
4. Лабор В.В. Си Шарп: создание приложения для Windows. Минск: Харвест, 2003. – 385 с.
5. Подбельский В.В. Язык С#: базовый курс. – М.: Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана, 2011. – 382 с.
6. Введение в системы баз данных / К.Дж. Дейт; пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2017. – 1328 с.

УДК 681.2.089

**Е. Ю. Котышков, Д. Б. Пономарев**

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет»,  
г. Омск, Россия

## **ПРОТЯЖЕННЫЙ ИНФРАКРАСНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ**

### **Аннотация**

*В настоящее время актуальной задачей является уменьшение погрешностей при бесконтактном тепловом контроле. В статье предложена модель протяженного инфракрасного излучателя как рабочего средства калибровки при тепловом контроле поверхностей из меди. Излучатель выполнен из двустороннего фольгированного стеклотекстолита размером 5х5 см. Нагревательный элемент выполнен в виде токопроводящей дорожки. Представлена расчетная термограмма теоретической модели излучателя, выполненная в программе ANSYS Workbench. В ходе моделирования определено необходимое и достаточное количество зон нагрева и их размер. Разработана структурная схема системы автоматического регулирования температуры для излучателя. В ходе эксперимента получены опытные данные: распределение температуры реальной модели*

инфракрасного излучателя и качество регулирования ПИД-регулятора. Произведено сравнение реальной и теоретической моделей излучателя. Неравномерность распределения температуры на поверхности в том и другом случае составила не более 1 К.

**Ключевые слова:** тепловой контроль, инфракрасный излучатель, протяженный излучатель, моделирование, регулятор температуры, термограмма, неравномерность температуры.

### **Abstract**

*At present, an urgent task is to reduce errors in non-contact thermal control. The article suggests a model of an extended infrared emitter as a working tool for calibration with thermal control of copper surfaces. The emitter is made of double-sided foil-coated glass-textolite measuring 5x5 cm. The heating element is made in the form of a conductive path. The calculated thermogram of the theoretical model of the emitter, made in the program ANSYS Workbench, is presented. During the simulation, a necessary and sufficient number of heating zones and their size are determined. A structural diagram of the automatic temperature control system for the emitter has been developed. Experimental data were obtained during the experiment: the temperature distribution of the real model of the infrared emitter and the quality of the PID regulator regulation. The real and theoretical models of the emitter are compared. The unevenness of the temperature distribution on the surface in both cases was not more than 1 K.*

**Key words:** thermal control, infrared emitter, extended emitter, simulation, temperature regulator, thermogram, temperature unevenness.

*Введение.* В задачах бесконтактного теплового контроля в промышленности, энергоаудите, научных исследованиях для достоверного определения температуры поверхности необходимо минимизировать методические погрешности измерений. Теоретические исследования параметрических погрешностей бесконтактных измерений температуры проведены в статьях [5, 6], однако отсутствуют экспериментальные оценки по моделям «серых» излучателей. Также возникает погрешность определения коэффициента излучения, связанная с тем, что при нагревании металлы начинают интенсивно окисляться и их коэффициент излучения увеличивается, следовательно, для излучателя требуется поверхность по своим характеристикам идентичная исследуемой.

Представленные на рынке модели протяженных излучателей производителей ОАО «НПП «ЭТАЛОН» и FLIR обладают «черной» поверхностью излучения с большой тепловой инерцией, и, следовательно, большим временем выхода на режим, не менее 40 минут. Для оперативного теплового контроля необходимо минимальное время выхода на режим. В статье [7] приведен пример конструкции с излучающей поверхностью из молибдена с элементом Пельтье в качестве нагревателя, такая конструкция позволяет добиться приемлемого градиента по поверхности, но имеет ограниченный рабочий диапазон температур.

*Постановка задачи.* В работе предложено реализовать модель инфракрасного излучателя, на основе фольгированного медью двухстороннего стеклотекстолита FR-4 рассчитанного на максимальную рабочую температуру 120 °С. Стабилизация температуры поверхности осуществляется посредством контактного датчика в составе системы автоматического регулирования. Для определения параметров нагревательного элемента поставлена задача

построения теоретической расчетной модели. Также важным аспектом является оценка неравномерности распределения температуры по поверхности и сравнение теоретической модели с реальной.

### 1. Моделирование излучателя в среде ANSYS Workbench

Создание расчетной модели инфракрасного излучателя производилось в программе ANSYS Workbench. Создание 3D-модели осуществлялось по следующим параметрам: высота печатной платы – 5 см, ширина – 5 см, толщина текстолита – 1,5 мм, толщина фольги – 18 мкм, размер фольгированной области 5x5 см. Из [4] известно, что неравномерность распределения температуры по поверхности излучателя с простейшим нагревательным элементом в виде медной дорожки, занимающей наибольшую площадь, составляет ~20 %. Для улучшения показателя неравномерности решено увеличить количество нагревательных элементов до 5. На рисунке 1 изображено расположение нагревательных элементов (5 нагревательных элементов – 4 по углам и один в центре).

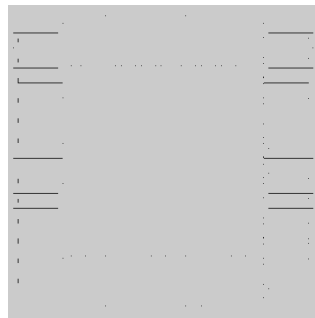
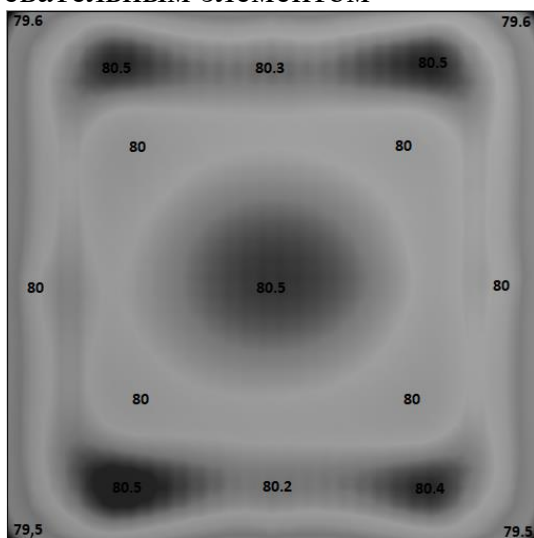
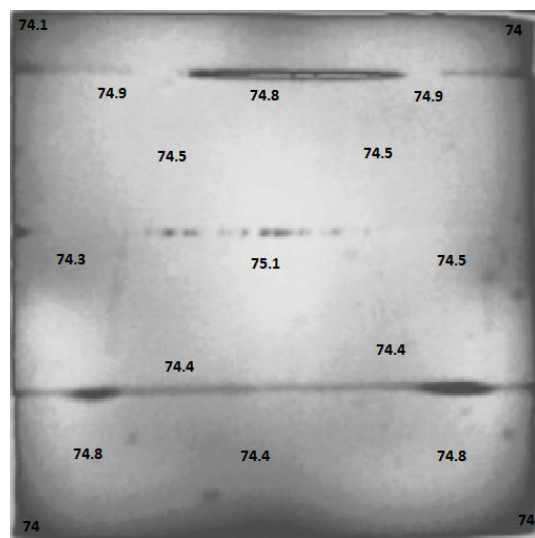


Рис. 1. Расположение нагревательных элементов на поверхности печатной платы

На рисунке 2, а изображен результат моделирования излучателя с таким нагревательным элементом



а



б

Рис. 2. Термограммы излучателя: расчетная (а) и экспериментальная (б)

Из рисунка 2 видно, что наибольшие температуры на поверхности излучателя расположены по центрам нагревательных элементов и составляют

~80,5 °С, наименьшие температуры находятся на углах и составляет ~79,5 °С. Неравномерность распределения температуры по поверхности модели составляет как по горизонтали, так и по вертикали ~1 °С.

## 2. Устройство поддержания температуры

Для реализации алгоритма ПИД-регулятора выбрана библиотека PID для среды разработки Arduino и микроконтроллер AVR ATmega328p [1, 2]. На рисунке 3 представлена структурная схема устройства регулирования температуры.

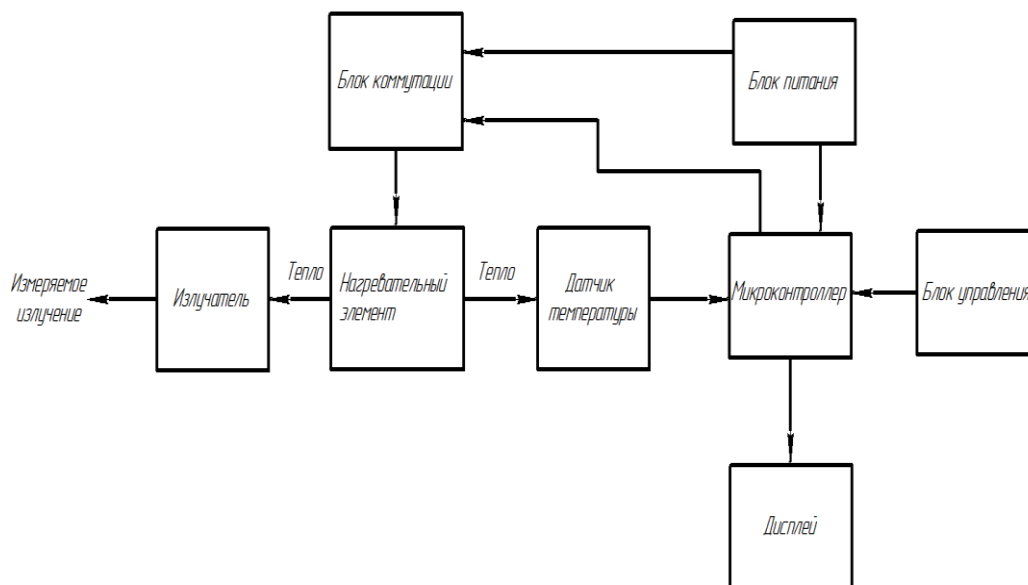


Рис. 3. Структурная схема устройства инфракрасного излучателя

*Результаты экспериментов.* Физическая модель инфракрасного излучателя изготовлена в соответствии с проведенными теоретическими расчетами. В местах, где в теоретической модели были получены значения наибольшей температуры (было получено 5 таких зон), были установлены цифровые датчики температуры интегрального типа DS18B20+. Также для обеспечения наилучшего теплового контакта между датчиками температуры и платой была нанесена термопаста. Для корректного определения температуры излучателя тепловизором поверхность была окрашена краской. Тем самым повышен коэффициент излучения до 0,95. Результат эксперимента представлен на рисунке 2, б в виде термограммы.

Из данных полученных во время эксперимента следует, что максимальная температура на поверхности реального излучателя 75,1 °С, минимальная 74 °С, неравномерность распределения температуры по излучающей поверхности составляет около 1 °С как по горизонтали так и по вертикали.

Так же в ходе эксперимента определены основные параметры системы автоматического регулирования при температуре 80 °С. Величина перерегулирования составила 5 °С, время установления 6 секунд, длительность переходного процесса 10 секунд, ошибка регулирования составляет не более 0,05 %. Разность между температурой поверхности и измеренной контактными датчиком составила 5 °С при заданной температуре.

*Выводы и заключение.* Проведенные исследования позволили разработать конструкцию «серого» инфракрасного излучателя с неравномерностью распределения температуры по поверхности не более 1 °С. Градиент температур между датчиком температуры и излучающей поверхностью составил не более 6 %. Преимуществом представленной модели является время выхода на режим не более 10 секунд при температурном градиенте по поверхности как у протяженных излучателей, представленных на рынке с существенно большим временем выхода на режим.

### Список использованных источников

1. Arduino PID library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary> – (Дата обращения: 26.04.2018).
2. Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://Arduino.cc/> – (Дата обращения: 26.04.2018).
3. ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ansys.com/> – (Дата обращения: 26.04.2018).
4. Модель инфракрасного излучателя / Е.Ю. Котышков, Д.Б. Пономарев // Материалы III Всероссийской студенческой научно-технической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2017. – С. 107-110.
5. Влияние погрешностей задания рабочих параметров на точность измерения температуры инфракрасными приборами / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев // Измерительная техника. 2016. № 1. С. 60-64.
6. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК-прибора / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев // Измерительная техника. 2015. № 5. С. 48-52.
7. Investigation of the directional emissivity of materials using infrared thermography coupled with a periodic excitation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hal.inria.fr/hal-01388188/document> (дата обращения: 28.04.2018).

УДК 004.921

**В. Н. Логинов, К. А. Щипанов, В. В. Лавров**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ НА ПОЛУТОНОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩЕГО МЕТОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

#### **Аннотация**

*В процессе производства металлических изделий и металлоконструкций в материале нередко возникают различные дефекты, влияющие на эксплуатационные характеристики*